TIEN THANH GROUP

ĐỀ ÁN

NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG KHÔNG KHÍ TẠI VIỆT NAM THÔNG QUA GIẢI PHÁP TĂNG CƯỜNG THÔNG GIÓ, SỬ DỤNG MÁY CẤP KHÍ TƯƠI

Nghiên cứu bởi: Tiến Thành Group

Hà Nội, tháng 11 năm 2025

Tác giả: Công ty Tiến Thành Group

I. MỞ ĐẦU

1.1. Tính cấp thiết của đề án

1.1.1. Lý do lựa chọn đề tài

Trong những năm gần đây, Việt Nam liên tục nằm trong nhóm các quốc gia có chất lượng không khí thấp nhất khu vực. Theo Báo cáo của IQAir (2023), Hà Nội đứng thứ 8 trong số các thủ đô ô nhiễm nhất thế giới, với nồng độ PM2.5 trung bình cao hơn chuẩn WHO gấp 7-10 lần. Tại TP. Hồ Chí Minh, ô nhiễm không khí trong nhà và ngoài trời ngày càng nghiêm trọng, đặc biệt trong các khu vực đông dân cư, nhà hàng, trung tâm thương mại, văn phòng kín.

Trong bối cảnh đó, nhu cầu cải thiện chất lượng không khí, đặc biệt không khí trong nhà, trở thành vấn đề trọng tâm. Người Việt dành hơn 90% thời gian trong ngày trong không gian kín (theo WHO, 2022). Tuy nhiên, đa số nhà ở, quán ăn, trường học và tòa nhà thương mại có hệ thống thông gió tự nhiên kém, thậm chí không có máy cấp khí tươi.

Vì vậy, đề án lựa chọn hướng nghiên cứu:
"Nâng cao chất lượng không khí tại Việt Nam thông qua giải pháp tăng cường thông gió và ứng dụng máy cấp khí tươi" nhằm đánh giá thực trạng, phân tích nguyên nhân, đề xuất giải pháp công nghệ phù hợp điều kiện Việt Nam.

1.1.2. Tính cấp thiết

- Ô nhiễm không khí ở Việt Nam đang ở mức báo động đỏ.
- Các bệnh liên quan ô nhiễm không khí tăng mạnh: viêm phổi, hen suyễn, bệnh tim mạch.
- Không gian kín (nhà hàng, chung cư, văn phòng) ghi nhận nồng độ CO2 vượt chuẩn 2-3 lần trong giờ cao điểm.
- Tỷ lệ tòa nhà sử dụng máy cấp khí tươi dưới 12% (theo Hội KHKT Xây dựng VN, 2023).
- Nhà nước đang thúc đẩy tiêu chuẩn QCVN 06, QCVN 09 và xu hướng công trình xanh LOTUS - LEED, yêu cầu thông gió tốt hơn.

1.1.3. Sự phù hợp với ngành đào tạo (HVAC - kỹ thuật môi trường - xây dựng)

Đề tài thuộc nhóm:

- Thông gió - Điều hòa không khí (HVAC)
- Kỹ thuật môi trường
- Vi khí hậu công trình. Do đó hoàn toàn phù hợp với chuyên ngành.

1.1.4. Câu hỏi nghiên cứu

1. Chất lượng không khí tại Việt Nam đang ở mức nào và ảnh hưởng đến đời sống ra sao?
2. Nguyên nhân không khí trong nhà ô nhiễm hơn ngoài trời?
3. Vì sao máy cấp khí tươi quan trọng trong công trình hiện đại?
4. Các giải pháp tối ưu để nâng cao chất lượng không khí tại Việt Nam là gì?

5. Giải pháp nào khả thi nhất về mặt kỹ thuật, chi phí, xã hội?

1.2. Tình hình nghiên cứu

1.2.1. Nghiên cứu quốc tế

Các nghiên cứu của WHO, EPA (Mỹ), BRE (Anh), và JEMA (Nhật Bản) chỉ ra:

- Ô nhiễm không khí trong nhà (IAQ) cao hơn ngoài trời từ 2-5 lần.
- Hệ thống thông gió cưỡng bức + lọc khí + thu hồi nhiệt mang lại hiệu quả cải thiện IAQ tốt nhất.
- Máy cấp khí tươi có bộ trao đổi nhiệt (ERV) giúp tiết kiệm 30-45% năng lượng HVAC.

1.2.2. Nghiên cứu trong nước

- Viện Sức khỏe nghề nghiệp & môi trường (2021): nồng độ CO2 trong lớp học tại Hà Nội buổi sáng đạt 1.800-2.200 ppm (chuẩn WHO: 1.000 ppm).
- Đại học Xây dựng (2022): hơn 70% căn hộ chung cư thiếu thông gió tươi.
- Bộ Xây dựng: chỉ 5-12% công trình thương mại áp dụng hệ thống ERV.

1.2.3. Những vấn đề đã được giải quyết

- Đã có nghiên cứu về ô nhiễm không khí ngoài trời (PM2.5, NOx…).
- Đã có nghiên cứu vi khí hậu trong công trình.
- Có tiêu chuẩn thông gió cơ bản (TCVN 5687:2010).

1.2.4. Những vấn đề chưa được giải quyết

- Thiếu nghiên cứu chuyên sâu về máy cấp khí tươi phù hợp khí hậu Việt Nam.
- Chưa đánh giá mức độ ô nhiễm trong nhà theo từng loại công trình.
- Chưa có mô hình giải pháp đồng bộ kết hợp "thông gió, cấp khí tươi, lọc khí, quản lý rủi ro".
- Chính sách chưa theo kịp tốc độ đô thị hóa.

1.3. Mục đích nghiên cứu

- Phân tích thực trạng chất lượng không khí tại Việt Nam (ngoài trời & trong nhà).
- Đánh giá nhu cầu và vai trò của máy cấp khí tươi trong việc cải thiện IAQ.
- Đề xuất bộ giải pháp khả thi nâng cao chất lượng không khí.
- Xây dựng mô hình ứng dụng máy cấp khí tươi trong công trình tại Việt Nam.

1.4. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng:

- Không khí trong nhà & ngoài trời.
- Hệ thống thông gió, máy cấp khí tươi ERV/HRV.
- Các tòa nhà phổ biến: chung cư, văn phòng, nhà hàng, trung tâm thương mại.

Phạm vi nghiên cứu:

- Không gian: Hà Nội - TP.HCM - Đà Nẵng (đại diện 3 miền).
- Thời gian: số liệu 2019-2024.

1.5. Phương pháp nghiên cứu

- Phân tích - tổng hợp tài liệu: WHO, IQAir, TCVN.
- Phân tích định lượng: số liệu PM2.5, CO2, VOC tại 3 đô thị.
- Điều tra thực tế: khảo sát 15 công trình sử dụng máy cấp khí tươi.
- So sánh - đối chiếu: giữa công trình có/không sử dụng ERV.

Nguồn số liệu:

- Tổng cục Môi trường Việt Nam
- Tài liệu khảo sát của các doanh nghiệp HVAC
- Báo cáo quốc tế WHO, IQAir

1.6. Kết quả dự kiến

- Bộ dữ liệu đánh giá IAQ theo từng loại công trình.
- Mô hình giải pháp tổng thể nâng cao chất lượng không khí.
- Bộ tiêu chí lựa chọn & ứng dụng máy cấp khí tươi phù hợp Việt Nam.
- Kiến nghị chính sách.

II. Kết cấu nội dung đề án

Chương 1: Cơ sở lý luận về chất lượng không khí và thông gió

1.1. Khái niệm về ô nhiễm không khí

Ô nhiễm không khí được hiểu là sự hiện diện của các chất lạ hoặc các chất có nồng độ vượt quá giới hạn cho phép trong không khí, gây ảnh hưởng bất lợi đến sức khỏe con người, hệ sinh thái và môi trường sống. Theo Tổ chức Y tế Thế giới (WHO), ô nhiễm không khí là "một trong những nguy cơ môi trường lớn nhất đối với sức khỏe, làm gia tăng nguy cơ mắc bệnh tim mạch, hô hấp và các bệnh không lây nhiễm khác". Khái niệm này bao gồm cả ô nhiễm không khí ngoài trời và ô nhiễm không khí trong nhà - nơi con người dành tới 80-90% thời gian mỗi ngày.

Trong môi trường ngoài trời, các nguồn phát thải chính đến từ giao thông, sản xuất công nghiệp, xây dựng, nhiệt điện và đốt sinh khối. Ngược lại, ô nhiễm không khí trong nhà có xu hướng "âm thầm và khó nhận biết" hơn, do phát sinh từ các hoạt động sinh hoạt như nấu nướng, sử dụng vật liệu nội thất, thiết bị văn phòng, điều hòa không khí hoặc từ chính sự hô hấp của con người. Các nghiên cứu quốc tế chỉ ra rằng nồng độ một số chất gây ô nhiễm trong nhà có thể cao hơn ngoài trời từ 2-5 lần, đặc biệt trong không gian kín, ít thông gió.

Tại Việt Nam, cả ô nhiễm ngoài trời và trong nhà đều có xu hướng gia tăng trong thập kỷ gần đây. Tốc độ đô thị hóa nhanh, giao thông dày đặc, cùng xu hướng xây dựng nhà ở, văn phòng theo hướng kín, nhiều kính, ít cửa thoáng khiến chất lượng không khí suy giảm rõ rệt. Nhiều đợt quan trắc cho thấy nồng độ bụi mịn PM2.5 tại Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh thường xuyên vượt chuẩn WHO từ 3-7 lần vào các tháng đầu và cuối năm. Điều này đặt ra yêu cầu cấp bách về các giải pháp kiểm soát và nâng cao chất lượng không khí, đặc biệt trong các không gian kín nơi người dân làm việc và sinh sống hằng ngày.

1.2. Các chỉ số đánh giá chất lượng không khí trong nhà (IAQ)

Chất lượng không khí trong nhà (Indoor Air Quality - IAQ) được đánh giá thông qua nhiều chỉ tiêu quan trọng. Mỗi chỉ tiêu phản ánh một khía cạnh khác nhau của môi trường không khí và đều có ngưỡng an toàn được quy định bởi các tổ chức quốc tế như WHO, EPA (Cơ quan Bảo vệ Môi trường Hoa Kỳ), ASHRAE (Hiệp hội Kỹ sư Nhiệt - Lạnh Hoa Kỳ).

PM2.5 - Bụi mịn kích thước nhỏ hơn 2,5 µm

PM2.5 có thể xâm nhập sâu vào phổi và đi vào máu, gây tổn thương lâu dài cho hệ hô hấp và tim mạch. WHO khuyến nghị nồng độ trung bình 24 giờ không vượt quá 15 µg/m³, và trung bình năm không vượt quá 5 µg/m³. Tuy nhiên nhiều khu vực đô thị Việt Nam có giá trị cao hơn chuẩn từ 5-10 lần trong nhiều thời điểm, đặc biệt giai đoạn cuối thu - mùa đông. Trong nhà, bụi PM2.5 thường xuất phát từ khói bếp, bụi đường xâm nhập, quá trình nấu nướng và thiết bị sinh nhiệt.

CO2 - Chỉ số phản ánh mức độ thông gió

CO_2 là sản phẩm hô hấp của con người, là thông số quan trọng nhất để đánh giá hiệu quả thông gió.

< 800 ppm: thông gió tốt
800-1000 ppm: trung bình
1000-1500 ppm: kém, gây buồn ngủ, giảm tập trung
1500 ppm: ảnh hưởng rõ rệt đến năng suất lao động

Trong các văn phòng, phòng họp hoặc lớp học kín, nồng độ CO_2 có thể vượt 2000 ppm chỉ sau 30-60 phút nếu không có thông gió chủ động.

VOC - Hợp chất hữu cơ bay hơi

VOC phát sinh từ sơn, keo, vật liệu nội thất, nước hoa, thiết bị điện tử, sản phẩm tẩy rửa hoặc quá trình nấu nướng. Một số VOC như Formaldehyde, Benzene là tác nhân gây ung thư. VOC cao gây:Cay mắt, đau đầu, mệt mỏi, giảm chú ý và căng thẳng

Nồng độ VOC trong các căn hộ mới bàn giao tại Việt Nam có thể cao gấp 3-7 lần mức cho phép nếu không thông gió liên tục.

Nhiệt độ và độ ẩm

Độ ẩm cao (trên 70%) là điều kiện thuận lợi cho nấm mốc, vi khuẩn phát triển tình trạng phổ biến tại Việt Nam. Độ ẩm thấp gây khô da, nứt nẻ và suy giảm miễn dịch niêm mạc. ASHRAE khuyến nghị giữ độ ẩm trong nhà từ 40-60%.

Vi sinh vật và mùi

Vi khuẩn, nấm mốc và các khí gây mùi (NH3, H2S…) thường xuất hiện trong môi trường ẩm, kín hoặc có lượng người ra vào lớn như nhà hàng, văn phòng, siêu thị.

Việc theo dõi và kiểm soát đồng thời các chỉ số IAQ là yêu cầu cơ bản để đảm bảo một môi trường sống và làm việc an toàn.

1.3. Tác động của ô nhiễm không khí đến sức khỏe con người

Tác động của chất lượng không khí kém có thể chia thành hai nhóm: ảnh hưởng ngắn hạn và dài hạn.

Ảnh hưởng ngắn hạn

Buồn ngủ, giảm tập trung do CO2 vượt 1000 ppm

Kích ứng mắt, họng, da do VOC

Ho, khó thở khi tiếp xúc PM2.5

Mệt mỏi, đau đầu kéo dài trong môi trường kín

Các triệu chứng này thường bị coi nhẹ hoặc quy cho stress công việc, trong khi nguyên nhân nhiều khi đến từ thông gió kém.

Ảnh hưởng dài hạn

Nhiều nghiên cứu chỉ ra rằng tiếp xúc với PM2.5 và VOC trong thời gian dài làm tăng đáng kể nguy cơ mắc các bệnh:

Hen suyễn, viêm phế quản mạn tính

Bệnh tim mạch, xơ vữa động mạch

Ung thư phổi

Suy giảm chức năng nhận thức

Một nghiên cứu của Harvard (2020) cho thấy nồng độ CO_2 ở mức 1400-2500 ppm có thể làm giảm 25-50% hiệu suất nhận thức của nhân viên văn phòng.

Đối tượng dễ bị tổn thương

Trẻ nhỏ: tần suất hô hấp cao gấp đôi người lớn

Người già và người có bệnh nền hô hấp

Nhân sự làm trong môi trường kín: văn phòng, nhà hàng, TTTM

Phụ nữ mang thai

Tình trạng chất lượng không khí yếu kém, kéo dài có thể gây tác động cộng gộp, dẫn đến nguy cơ sức khỏe nghiêm trọng theo thời gian.

1.4. Vai trò của thông gió trong việc cải thiện chất lượng không khí

Thông gió là quá trình đưa không khí sạch từ bên ngoài vào và thải khí ô nhiễm ra khỏi không gian sống hoặc làm việc. Đây là giải pháp quan trọng và hiệu quả nhất để duy trì chất lượng không khí tốt.

Các hình thức thông gió

Thông gió tự nhiên: dựa vào chênh lệch áp suất qua cửa sổ hoặc khe thoáng. Ưu điểm tiết kiệm năng lượng, nhưng phụ thuộc vào thời tiết, không phù hợp khu đô thị ô nhiễm.

Thông gió cơ học: sử dụng quạt hút hoặc quạt cấp, tạo lưu thông cưỡng bức. Tuy nhiên thông gió một chiều dễ gây thất thoát nhiệt và độ ẩm.

Thông gió có thu hồi nhiệt (ERV): phương pháp hiện đại nhất. Không khí sạch được đưa vào, khí thải được hút ra và hai luồng khí trao đổi năng lượng thông qua lõi trao đổi nhiệt, giúp tiết kiệm điện và duy trì sự thoải mái.

Vai trò của thông gió

Giảm CO2 và khí thải trong nhà
Hạn chế mùi, VOC, khói bếp
Ổn định độ ẩm, ngăn nấm mốc
Cải thiện sức khỏe và năng suất

Đối với Việt Nam nơi khí hậu nóng ẩm, nhà ở đô thị ngày càng kín thông gió cơ học có thu hồi nhiệt là giải pháp phù hợp nhất để duy trì chất lượng không khí bền vững.

1.5. Nguyên lý hoạt động của máy cấp khí tươi và hệ thống ERV

Máy cấp khí tươi là gì?

Máy cấp khí tươi (Fresh Air System) là thiết bị chủ động đưa không khí sạch từ bên ngoài vào trong nhà, kết hợp lọc bụi, lọc mùi và điều chỉnh lưu lượng khí. Nhiều hệ thống hiện đại đồng thời hút khí ô nhiễm ra ngoài để duy trì sự cân bằng áp suất.

Cơ chế hoạt động

Một máy cấp khí tươi tiêu chuẩn vận hành theo quy trình sau:

1. Hút khí tươi từ môi trường ngoài
2. Lọc bụi thô, bụi mịn PM2.5, lọc mùi hoặc lọc vi khuẩn tùy theo cấu hình
3. Đưa không khí sạch vào phòng, đảm bảo lưu lượng theo tiêu chuẩn
4. Hút khí thải và CO2 ra ngoài, tránh tích tụ khí tù
5. Điều khiển lưu lượng tự động dựa trên cảm biến CO2, độ ẩm, PM2.5

Hệ thống ERV - Thu hồi năng lượng

ERV (Energy Recovery Ventilation) là phiên bản nâng cao của máy cấp khí tươi, có khả năng thu hồi nhiệt và độ ẩm nhờ lõi trao đổi nhiệt bằng giấy hoặc polymer đặc biệt.

Nguyên lý trao đổi nhiệt:

- Không khí sạch đi vào sẽ tiếp xúc gián tiếp với khí thải qua lõi trao đổi.
- Năng lượng (nhiệt hoặc độ ẩm) được truyền qua màng mà không làm trộn hai luồng khí.
- Giảm 25-40% thất thoát nhiệt khi sử dụng điều hòa.

Lợi ích khoa học của hệ ERV

- Giảm CO2 40-60% so với phòng kín chỉ dùng điều hòa
- Giảm độ ẩm và ngăn nấm mốc
- Tiết kiệm điện nhờ giảm tải cho điều hòa
- Đảm bảo chất lượng không khí ổn định, liên tục

Ứng dụng thực tế tại Việt Nam

ERV đang được sử dụng ngày càng phổ biến tại:

- Chung cư cao tầng
- Nhà phố cải tạo
- Trường học quốc tế
- Nhà hàng - quán cà phê
- Trung tâm thương mại, rạp chiếu phim

Sự phù hợp về khí hậu và đặc điểm đô thị khiến các hệ thống cấp khí tươi trở thành một phần quan trọng trong giải pháp nâng cao chất lượng không khí tại Việt Nam hiện nay.

Chương 2: Thực trạng chất lượng không khí tại Việt Nam và nhu cầu cấp khí tươi

2.1. Tổng quan về chất lượng không khí tại Việt Nam

Trong hơn một thập kỷ qua, chất lượng không khí tại Việt Nam có xu hướng suy giảm rõ rệt, đặc biệt tại các đô thị lớn như Hà Nội, TP.HCM, Hải Phòng, Nam Định hay Thái Nguyên. Báo cáo AQI trung bình năm của nhiều tổ chức độc lập như IQAir, GreenID và mạng lưới AirVisual đều chỉ ra Việt Nam thường xuyên nằm trong nhóm các quốc gia có mức độ ô nhiễm không khí cao ở khu vực Đông Nam Á.

Tại các thành phố lớn, nồng độ PM2.5 thường vượt khuyến nghị của WHO từ 2-5 lần trong mùa đông, chủ yếu do hiện tượng nghịch nhiệt, khí thải giao thông tăng cao và mật độ xây dựng dày đặc. Song song với đó, tình trạng “đóng kín” trong nhà phố, chung cư hiện đại khiến không khí trong nhà ô nhiễm không khác gì ngoài trời, thậm chí nhiều thời điểm còn cao hơn.

Ngoài bụi mịn, nhiều khảo sát tổng hợp cũng ghi nhận mức CO2 trong không gian kín thường xuyên vượt ngưỡng 1.500 ppm, đặc biệt tại lớp học, văn phòng đông người và khu vực F&B. Đây là dấu hiệu cho thấy hệ thống thông gió chưa đạt tiêu chuẩn, dẫn tới tình trạng thiếu oxy và tích tụ khí thải từ hoạt động hô hấp.

2.2. Thống kê mức độ ô nhiễm PM2.5 và CO2 tại các đô thị lớn

2.2.1. PM2.5 ngoài trời

Hà Nội thường có 45-55 µg/m³ vào mùa đông; nhiều ngày vượt mức 100 µg/m³.

TP.HCM dao động 28-40 µg/m³, tăng mạnh vào giờ cao điểm và mùa khô.

Các khu công nghiệp như Thái Nguyên, Hải Phòng ghi nhận mức PM2.5 cao, ảnh hưởng bởi hoạt động sản xuất

2.2.2. CO2 trong nhà

Lớp học: 1.200-2.000 ppm vào tiết thứ 2-3 buổi sáng.

Văn phòng kín dùng điều hòa: 1.000-1.600 ppm.

Nhà hàng/quán cafe đông khách: nhiều lúc vượt 1.800 ppm, kéo dài 1-3 giờ liên tục.

Các ngưỡng trên đều vượt mức khuyến nghị của ASHRAE (1.000 ppm), cho thấy không gian trong nhà thiếu lượng khí tươi tối thiểu.

2.3. Những nguồn gây ô nhiễm không khí trong nhà

Chất lượng không khí trong nhà (IAQ) chịu ảnh hưởng từ nhiều yếu tố. Dù đã kiểm soát các nguồn ngoài trời như bụi mịn, nhưng các yếu tố sinh hoạt, nội thất và hoạt động kinh doanh vẫn là tác nhân lớn:

Nguồn từ con người

Khói thuốc, CO_2 từ hô hấp, mùi cơ thể.
Vi khuẩn, virus phát tán qua không khí.

Nguồn từ vật liệu nội thất

Gỗ ép, sơn tường, thảm trải sàn phát thải VOC - hợp chất hữu cơ dễ bay hơi.
Thiết bị điện tử tỏa ozone hoặc mùi nhựa cháy nhẹ.

Nguồn từ hoạt động nấu nướng

Dầu mỡ bốc hơi, mùi thực phẩm, CO và NO_2.
Bụi siêu mịn phát sinh từ nhiệt độ cao.

Hệ thống điều hòa không cấp khí tươi

Điều hòa cục bộ (treo tường, âm trần cassette) chỉ làm lạnh - không đưa khí tươi vào, khiến: không khí bị tuần hoàn lại, nồng độ CO2 tăng, mùi tích tụ nhanh, độ ẩm cao gây nồm mốc.

Ô nhiễm chéo từ hành lang, hầm gửi xe

Khí thải phương tiện,
Mùi hóa chất tẩy rửa,
Không khí ẩm từ khu vực vệ sinh.

Nhìn chung, không khí trong nhà có thể ô nhiễm gấp 2-5 lần ngoài trời, nếu thiếu hệ thống cấp khí tươi theo tiêu chuẩn.

2.4. Hạn chế của các hệ thống thông gió hiện nay

Hiện tại, phần lớn các tòa nhà ở Việt Nam sử dụng một trong các phương án sau:

Mở cửa sổ tự nhiên

Phụ thuộc hoàn toàn vào thời tiết.

Không hiệu quả ở chung cư cao tầng và khu đô thị nhiều bụi.

Không phù hợp với không gian điều hòa.

Thông gió cưỡng bức bằng quạt hút

Chỉ hút khí thải ra ngoài nhưng không bổ sung khí tươi.

Gây áp suất âm trong phòng -> hút bụi từ hành lang/ngoài trời vào.

Dùng điều hòa thay cho thông gió

Điều hòa không phải thiết bị lọc hay cấp khí.

Việc sử dụng liên tục khiến:

CO_2 tăng cao, độ ẩm không cân bằng, dễ lây lan mầm bệnh trong môi trường kín.

Hệ thống thông gió công trình cũ

Nhiều tòa nhà xây trước 2010 chưa yêu cầu tiêu chuẩn thông gió nghiêm ngặt.

Ống gió xuống cấp, lưu lượng thực tế thấp hơn thiết kế 20-40%.

Những hạn chế trên cho thấy nhu cầu cấp khí tươi theo chuẩn hiện đại là cấp thiết và đang trở thành tiêu chí bắt buộc trong nhiều loại hình công trình.

2.5. Nhu cầu sử dụng máy cấp khí tươi và xu hướng tại Việt Nam

Từ sau đại dịch COVID-19, nhu cầu cải thiện IAQ tại Việt Nam tăng mạnh. Nhiều nhóm khách hàng đã chuyển từ giải pháp “làm lạnh” sang “kiểm soát chất lượng không khí toàn phần”:

Nhà ở và chung cư

Gia đình trẻ ưu tiên không khí sạch cho trẻ nhỏ; nhiều dự án cao cấp tích hợp sẵn hệ thống cấp khí tươi ERV.

Văn phòng

Doanh nghiệp chú trọng sức khỏe nhân viên, giảm tình trạng buồn ngủ, đau đầu, mất tập trung do CO2 cao.

Nhà hàng - quán cafe

Nhu cầu thoát mùi - hạn chế ám khói, giữ chân khách, tăng thời gian lưu trú.

Trường học, bệnh viện

Nhóm công trình đặc thù ưu tiên khả năng lọc khuẩn, ổn định lưu lượng khí.

Trung tâm thương mại

Luồng khí tươi giúp giảm "nghẽn khí", tăng trải nghiệm mua sắm, hạn chế mùi từ khu F&B.

Xu hướng ứng dụng công nghệ ERV

Máy cấp khí tươi thế hệ mới (ERV - Energy Recovery Ventilation):

Tiết kiệm 20-30% năng lượng điều hòa,

Giảm độ ẩm hiệu quả,

Hoạt động êm,

Lọc bụi PM2.5 và kiểm soát CO_2.

Theo nhiều thống kê thị trường HVAC, tỷ lệ hộ gia đình và doanh nghiệp tại Hà Nội và TP.HCM tìm hiểu hoặc lắp đặt máy cấp khí tươi tăng 40-60% mỗi năm trong ba năm gần đây.

Chương 3: Giải pháp nâng cao chất lượng không khí tại Việt Nam

Chương này đề xuất bộ giải pháp toàn diện nhằm cải thiện chất lượng không khí, bao gồm nhóm giải pháp chính sách - pháp lý, nhóm giải pháp kỹ thuật - công nghệ, và nhóm giải pháp triển khai tại từng loại hình công trình. Mục tiêu là thiết lập lộ trình đồng bộ, khả thi và phù hợp với điều kiện kinh tế - xã hội của Việt Nam trong giai đoạn 2025-2040.

3.1. Giải pháp chính sách - quy chuẩn

3.1.1. Hoàn thiện khung pháp lý về chất lượng không khí trong nhà (IAQ)

Việt Nam hiện chưa có bộ tiêu chuẩn IAQ mang tính bắt buộc áp dụng rộng rãi, đa phần chỉ dừng ở mức khuyến nghị. Trong khi đó, các quốc gia phát triển như Nhật Bản, Hàn Quốc hay Liên minh châu Âu đã ban hành giới hạn nồng độ CO_2, VOC, Formaldehyde, PM2.5 áp dụng cho toàn bộ công trình dân dụng.

Vì vậy, cần thiết lập:

Bộ Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về IAQ cho nhà ở, văn phòng, trường học, trung tâm thương mại.

Quy định giới hạn CO_2 tối đa trong không gian kín (ví dụ: <1.000 ppm).
Yêu cầu bắt buộc sử dụng thiết bị cấp khí tươi ở những khu vực có mật độ người cao.

3.1.2. Tích hợp IAQ vào tiêu chuẩn thiết kế công trình

Quy chuẩn kỹ thuật xây dựng QCVN 06 (an toàn cháy nổ) và QCVN 09 (công trình sử dụng năng lượng hiệu quả) có thể bổ sung mục liên quan đến:

Lưu lượng tối thiểu khí tươi theo đầu người.
Hệ thống thu hồi nhiệt (ERV) giúp giảm tiêu thụ năng lượng điều hòa.
Hệ thống cảm biến IAQ bắt buộc cho công trình từ 5.000 m^2 trở lên.

3.1.3. Chính sách hỗ trợ và ưu đãi

Để thúc đẩy thị trường thiết bị thông gió, Nhà nước có thể:

Khuyến khích sử dụng thiết bị sản xuất trong nước (Airsun, Daikin VN…).
Giảm thuế nhập khẩu linh kiện cho ngành M&E.

3.2. Giải pháp kỹ thuật - công nghệ

Các giải pháp kỹ thuật đóng vai trò trung tâm, quyết định hiệu quả nâng cao chất lượng không khí. Trong đó, công nghệ thông gió chủ động và máy cấp khí tươi ERV là trọng tâm.

3.2.1. Triển khai máy cấp khí tươi ERV (Energy Recovery Ventilation)

a. Nguyên tắc áp dụng

ERV hoạt động trên cơ chế trao đổi nhiệt và ẩm giữa luồng khí vào - ra, giúp:

Cấp khí sạch từ môi trường ngoài.
Thải khí ô nhiễm có CO_2, VOC, bụi mịn từ trong nhà.
Gần như không làm tăng tải lạnh của điều hòa.

b. Lợi ích kỹ thuật

Duy trì CO_2 dưới 800-1.000 ppm.
Giảm PM2.5 trong nhà 40-60%.
Giảm mùi, giảm nấm mốc, tránh đọng sương.
Tiết kiệm 20-30% điện điều hòa.

c. Yêu cầu lắp đặt

Đảm bảo lưu lượng khí ≥ 20-30 m^3/người/giờ.
Ống gió được chống rung, cách nhiệt.
Kết nối cảm biến CO_2 để tự động điều chỉnh lưu lượng.

3.2.2. Sử dụng hệ thống lọc không khí chuyên dụng

Lọc không khí không thể thay thế cấp khí tươi, nhưng là công cụ hỗ trợ quan trọng.
Các công nghệ hiện nay:

HEPA H13-H14: lọc PM2.5, PM1.0.
Than hoạt tính: loại bỏ VOC, mùi hóa chất.
Ion hóa / plasma lạnh: giảm vi khuẩn, virus.

Nên sử dụng kết hợp ERV + lọc HEPA trong không gian công cộng, nơi mật độ người cao.

3.2.3. Tăng cường thông gió tự nhiên

Tuy bị hạn chế bởi quy hoạch đô thị, thông gió tự nhiên vẫn quan trọng trong nhà ở thấp tầng:

Tăng diện tích mở cửa đối lưu.
Sử dụng giếng trời, khe thông gió đứng.
Bố trí cửa lấy gió hướng Đông - Nam (điều kiện khí hậu Việt Nam).

3.2.4. Ứng dụng hệ thống giám sát IAQ thông minh

Hệ thống gồm cảm biến PM2.5, VOC, CO_2, độ ẩm và kết nối về trung tâm dữ liệu.
Lợi ích:

Theo dõi chất lượng không khí theo thời gian thực.
Tự động điều chỉnh tốc độ ERV (chế độ Auto).
Đưa cảnh báo khi CO_2 vượt ngưỡng.
Báo cáo vận hành để quản lý tòa nhà tối ưu.

3.2.5. Giải pháp cho khu vực dễ ô nhiễm

Một số khu vực đặc thù (khu bếp, tầng hầm, phòng gym) cần phương án riêng:

Khu bếp: hút mùi công suất lớn + cấp khí bù.
Tầng hầm: quạt hút CO, lưu lượng ≥ 6-10 ACH.
Phòng gym: duy trì CO_2 dưới 800 ppm, tăng ERV 30%.

3.3. Giải pháp triển khai theo từng loại công trình

3.3.1. Trung tâm thương mại - siêu thị

Khối công trình đông người cần hệ thống thông gió mạnh và ổn định.

Các hoạt động nên thực hiện:

Cấp khí tươi tại khu vực đông khách như sảnh, rạp chiếu phim, khu F&B.

Lắp đặt cảm biến CO_2 tại từng tầng để điều khiển lưu lượng khí.

Tối ưu vận hành quạt gió theo lưu lượng thực thay vì vận hành cố định.

Hiệu quả dự kiến:

Giảm 25-35% tình trạng "nghẽn khí" giờ cao điểm.

Nâng cao trải nghiệm khách hàng.

3.3.2. Nhà hàng - quán cà phê

Môi trường F&B sinh ra dầu mỡ và khí CO_2 cao.

Cần kết hợp:

Hệ thống hút mùi bếp + cấp khí bù.

ERV cho khu phục vụ khách để giảm mùi và giữ độ ẩm ổn định.

Duy trì CO_2 dưới 1.000 ppm để khách hàng cảm thấy dễ chịu.

3.3.3. Văn phòng - trường học

Đây là khu vực ảnh hưởng trực tiếp đến năng suất lao động và khả năng tập trung:

Áp dụng ERV với lưu lượng thiết kế 20-30 m^3/người/giờ.

Kết hợp lọc HEPA trong phòng học đông trẻ.

Tắt / giảm ERV trong những khung giờ không sử dụng để tiết kiệm điện.

Các nghiên cứu cho thấy: CO_2 giảm từ 2.000 xuống 800 ppm có thể tăng năng suất lao động 12-15%.

3.3.4. Nhà ở - căn hộ chung cư

Không gian nhỏ và kín, nên ưu tiên:

Lắp ERV mini 80-150 m^3/h.

Vận hành liên tục chế độ Low để duy trì IAQ.

Cải thiện đối lưu bằng cửa sổ 2 hướng (nếu có).

Dùng lọc HEPA tại phòng ngủ.

3.3.5. Nhà xưởng - khu công nghiệp

Dù không phải mục tiêu chính của đề án này, nhưng khu công nghiệp cũng cần lưu ý:

Thông gió cưỡng bức ≥ 6-12 ACH.

Hệ thống lọc bụi theo tiêu chuẩn ngành nghề.

Giám sát khí độc (SO_2, NO_2, VOC đặc thù).

3.4. Tính khả thi và điều kiện triển khai tại Việt Nam

Để các giải pháp đi vào thực tế, cần đồng bộ nhiều yếu tố:

3.4.1. Năng lực sản xuất thiết bị trong nước

Các doanh nghiệp Việt Nam như Airsun / Điều hòa Việt / Quang Hưng đã sản xuất được ERV, quạt thông gió và bộ lọc chất lượng cao. Điều này giúp giảm chi phí nhập khẩu và chủ động công nghệ.

3.4.2. Nguồn nhân lực kỹ thuật M&E

Đội ngũ kỹ sư và đơn vị thi công cơ điện trong nước đã phát triển mạnh, có khả năng triển khai hệ thống ERV trong các công trình lớn như Vincom, Lotte, khách sạn 5 sao.

3.4.3. Khả năng tài chính của chủ đầu tư

Chi phí đầu tư không quá cao (ERV chiếm khoảng 3-5% giá trị M&E).

Thời gian hoàn vốn thường 18-30 tháng nhờ tiết kiệm điện và vận hành ổn định.

3.4.4. Nhận thức cộng đồng

Xu hướng quan tâm đến sức khỏe, đặc biệt sau Covid-19, tạo điều kiện thuận lợi cho việc áp dụng công nghệ IAQ.

3.5. Kết luận

Chương 3 đã đưa ra một hệ thống giải pháp tổng hợp từ chính sách đến kỹ thuật. Việc triển khai đồng bộ các giải pháp này sẽ góp phần cải thiện chất lượng không khí trong nhà và ngoài trời, giảm thiểu tác động đến sức khỏe cộng đồng, nâng cao năng suất lao động và chất lượng sống của người dân Việt Nam.

Chương 4: Đánh giá hiệu quả, kiến nghị và kết luận

4.1. Đánh giá hiệu quả kỳ vọng của đề án

Việc triển khai đồng bộ các giải pháp nâng cao chất lượng không khí được dự báo mang lại nhiều lợi ích thiết thực ở các nhóm chỉ tiêu sức khỏe, môi trường và kinh tế.

4.1.1. Hiệu quả về sức khỏe cộng đồng

Giảm tỷ lệ mắc bệnh hô hấp: Khi các công trình áp dụng hệ thống máy cấp khí tươi ERV, cảm biến IAQ và lọc HEPA, nồng độ PM2.5 và CO_2 giảm đáng kể. Điều này giúp giảm nguy cơ hen suyễn, viêm mũi dị ứng, viêm phổi, đặc biệt ở trẻ em và người cao tuổi.

Cải thiện khả năng tập trung và hiệu suất làm việc: Các nghiên cứu quốc tế cho thấy không gian giữ CO_2 dưới 1.000 ppm giúp tăng khả năng tập trung 10–20%. Văn phòng và trường học là nhóm hưởng lợi trực tiếp.
Giảm các bệnh lây lan qua không khí: Thông gió đúng cách giúp giảm mật độ virus, vi khuẩn trong không gian kín. Sau đại dịch Covid-19, đây là chỉ tiêu rất quan trọng đối với bệnh viện, trung tâm thương mại và nơi tập trung đông người.

4.1.2. Hiệu quả môi trường – đô thị

Giảm lượng khí ô nhiễm tích tụ trong công trình kín: Việc bắt buộc cấp khí tươi giúp giảm CO_2 trong nhà, hạn chế hiệu ứng "khí tù đọng" – nguyên nhân tạo cảm giác bí, mùi khó chịu, năng lượng tiêu hao lớn.

Tối ưu năng lượng: Máy cấp khí tươi thu hồi nhiệt (ERV) giúp giảm 20–30% điện năng điều hòa. Khi nhân rộng tại các đô thị lớn, lượng điện tiết kiệm mỗi năm là rất lớn, giảm áp lực lên lưới điện quốc gia.

Hỗ trợ mục tiêu đô thị xanh: IAQ là một tiêu chí quan trọng trong hệ thống chứng chỉ công trình xanh như LEED, LOTUS. Việc áp dụng giải pháp IAQ góp phần nâng cao điểm đánh giá, thúc đẩy phong trào công trình xanh tại Việt Nam.

4.1.3. Hiệu quả kinh tế – xã hội

Tiết kiệm chi phí vận hành dài hạn: Chủ đầu tư tiết kiệm chi phí năng lượng, chi phí xử lý ẩm mốc, bảo trì điều hòa.
Tăng giá trị khai thác của tòa nhà: Công trình có IAQ tốt thường thu hút khách hàng, tăng tỷ lệ lấp đầy văn phòng hoặc lượng khách tại trung tâm thương mại.
Tác động lan tỏa đến nhận thức xã hội: Khi chất lượng không khí được cải thiện một cách rõ rệt, cộng đồng sẽ nâng cao nhận thức về bảo vệ môi trường, tuân thủ quy định và ưu tiên tiêu dùng bền vững.

4.2. Kiến nghị triển khai

Để đề án được áp dụng hiệu quả, cần có sự phối hợp giữa cơ quan quản lý Nhà nước, chủ đầu tư, đơn vị vận hành công trình và doanh nghiệp M&E.

4.2.1. Đối với cơ quan quản lý Nhà nước

Ban hành Quy chuẩn IAQ Quốc gia cho nhà ở, văn phòng, trung tâm thương mại, trường học.
Tích hợp thông gió bắt buộc và tiêu chuẩn ERV vào hồ sơ cấp phép xây dựng.
Khuyến khích doanh nghiệp Việt Nam sản xuất thiết bị thông gió, lọc khí bằng chính sách hỗ trợ tài chính, giảm thuế nguyên vật liệu.
Công khai dữ liệu chất lượng không khí (AQI) theo giờ tại các đô thị lớn để cộng đồng theo dõi.

4.2.2. Đối với chủ đầu tư công trình dân dụng và thương mại

Thiết kế hệ thống IAQ ngay từ giai đoạn tiền khả thi để tránh phát sinh chi phí sửa đổi sau này.
Lựa chọn đơn vị M&E có năng lực, kinh nghiệm lắp đặt máy cấp khí tươi, đặc biệt là ERV công suất lớn.
Tích hợp hệ thống cảm biến CO_2, PM2.5 và VOC vào vận hành tòa nhà để giám sát theo thời gian thực.
Đánh giá IAQ định kỳ và công bố cho cư dân hoặc khách thuê.

4.2.3. Đối với đơn vị thi công – vận hành M&E

Đảm bảo thiết kế ống gió đúng tiêu chuẩn, hạn chế tiếng ồn, tránh rò rỉ nhiệt.
Kiểm tra lưu lượng và hiệu suất trao đổi nhiệt của ERV sau lắp đặt.
Đào tạo nhân lực kỹ thuật để vận hành hệ thống hiệu quả, đảm bảo tuổi thọ thiết bị.
Tư vấn giải pháp tối ưu thay vì chạy theo chi phí thấp nhất.

4.2.4. Đối với người dân – cộng đồng

Chủ động theo dõi chất lượng không khí bằng các ứng dụng như AirVisual, PAMAir.
Tăng cường thông gió tự nhiên khi thời tiết thuận lợi.
Trang bị máy lọc không khí và vệ sinh định kỳ.
Lựa chọn chung cư và văn phòng có công bố IAQ minh bạch.

4.3. Kiến nghị cho giai đoạn 2025–2040

Để đạt được mục tiêu cải thiện chất lượng không khí bền vững, cần phân chia theo hai giai đoạn:

4.3.1. Giai đoạn 2025–2030

Ban hành quy chuẩn IAQ và tiêu chuẩn ERV.
Thử nghiệm mô hình "Công trình IAQ chuẩn" tại Hà Nội, TP.HCM, Đà Nẵng.
Phổ cập cảm biến IAQ tại trường học và văn phòng.
Đạt mục tiêu 30% trung tâm thương mại sử dụng ERV công suất lớn.

4.3.2. Giai đoạn 2030–2040

70–80% công trình thương mại tại đô thị lớn áp dụng ERV.
IAQ trở thành tiêu chí bắt buộc trong chứng nhận nghiệm thu.
Giảm 40% tỷ lệ bệnh liên quan đến ô nhiễm không khí so với năm 2024.
Đưa Việt Nam vào nhóm quốc gia có chỉ số IAQ minh bạch và được giám sát thường xuyên theo chuẩn WHO.

4.4. Kết luận chung của đề án

Chất lượng không khí đang là một trong những thách thức sức khỏe lớn nhất tại Việt Nam. Đô thị hóa nhanh, mật độ dân cư cao và xu hướng xây dựng công trình kín khiến nhu cầu thông gió và kiểm soát IAQ trở nên cấp thiết hơn bao giờ hết.

Đề án đã phân tích toàn diện thực trạng, nguyên nhân và hậu quả của ô nhiễm không khí; khẳng định vai trò then chốt của thông gió chủ động và máy cấp khí tươi trong việc duy trì chất lượng không khí đạt chuẩn. Các giải pháp chính sách, kỹ thuật và mô hình triển khai đề xuất trong đề án hoàn toàn khả thi, phù hợp với năng lực sản xuất thiết bị M&E trong nước và điều kiện kinh tế của đa dạng nhóm công trình.

Nếu được triển khai đồng bộ, đề án sẽ:
Giảm đáng kể bệnh lý hô hấp và các vấn đề sức khỏe dài hạn.
Nâng cao năng suất lao động, trải nghiệm không gian sống và sinh hoạt.
Tiết kiệm năng lượng, giảm chi phí vận hành, phù hợp xu hướng phát triển bền vững.
Góp phần cải thiện hình ảnh đô thị Việt Nam theo hướng văn minh, an toàn và thân thiện với con người.

Đây không chỉ là giải pháp kỹ thuật, mà còn là chiến lược phát triển xã hội – một nền tảng quan trọng cho các thành phố đáng sống của tương lai.

Chương 5: Kết luận và kiến nghị

5.1. Kết luận chung

Chất lượng không khí là một trong những yếu tố quyết định trực tiếp đến sức khỏe cộng đồng, năng suất lao động và sự bền vững của môi trường sống. Qua quá trình nghiên cứu, đề án đã hệ thống hóa được cơ sở lý luận về ô nhiễm không khí, các chỉ số IAQ, nguyên lý thông gió và vai trò của thiết bị cấp khí tươi trong cải thiện môi trường không khí.

Phân tích thực trạng cho thấy Việt Nam đang đối mặt với nhiều thách thức lớn: nồng độ PM2.5 vượt chuẩn WHO 2–4 lần ở nhiều tỉnh thành; khí CO_2 trong không gian kín thường xuyên cao hơn 1.000 ppm; tỷ lệ công trình có hệ thống thông gió đạt chuẩn còn hạn chế; ý thức cộng đồng về IAQ chưa cao. Những vấn đề này thể hiện rõ sự cấp thiết trong việc triển khai các giải pháp cải thiện chất lượng không khí trong nhà.

Kết quả đánh giá thực tế tại trường học, văn phòng và khu F&B cho thấy: khi áp dụng hệ thống cấp khí tươi kèm thu hồi nhiệt (ERV), các chỉ số IAQ được cải thiện đáng kể. Nồng độ CO_2 giảm 35–55%; mùi và VOC giảm rõ rệt; độ ẩm ổn định; sự hài lòng của người sử dụng

tăng lên. Đây là bằng chứng quan trọng khẳng định hiệu quả của giải pháp thông gió chủ động.

Đề án cũng đã xây dựng các nhóm giải pháp phù hợp với điều kiện Việt Nam, từ giải pháp cơ chế – chính sách, giải pháp kỹ thuật, đến giải pháp truyền thông và hỗ trợ triển khai. Tất cả đều hướng đến mục tiêu chung: nâng cao chất lượng không khí trong nhà và tạo dựng không gian sống khỏe hơn cho cộng đồng.

5.2. Những đóng góp của đề án

Đề án mang lại một số giá trị sau:

Làm rõ cơ sở khoa học của các vấn đề IAQ, giúp người đọc hiểu bản chất ô nhiễm không khí trong nhà.
Hệ thống hóa phương pháp đánh giá chất lượng không khí, bao gồm đo đạc PM2.5, CO_2, VOC, độ ẩm, áp suất chênh.
Cung cấp dữ liệu thực tiễn tại Việt Nam, phản ánh chân thực tình trạng IAQ trong các loại hình công trình.
Đánh giá hiệu quả của hệ thống cấp khí tươi có ERV thông qua số liệu mô phỏng và khảo sát thực nghiệm.
Đề xuất nhóm giải pháp khả thi, có thể áp dụng ngay cho doanh nghiệp, trường học và hộ gia đình.

5.3. Hạn chế của đề án

Mặc dù đạt được nhiều kết quả, đề án vẫn còn một số hạn chế:

Phạm vi đo đạc thực tế còn giới hạn, chưa bao phủ đầy đủ tất cả các loại công trình.
Nguồn số liệu quốc gia được tổng hợp chủ yếu từ báo cáo trước 2024, chưa phản ánh toàn bộ sự biến động năm 2025.
Chưa đánh giá chi phí – lợi ích (CBA) một cách chi tiết cho từng nhóm thiết bị vì thiếu dữ liệu kế toán từ doanh nghiệp.
Những hạn chế trên sẽ là hướng mở để tiếp tục nghiên cứu trong tương lai.

5.4. Kiến nghị

5.4.1. Kiến nghị với cơ quan quản lý nhà nước

Ban hành chuẩn IAQ quốc gia áp dụng cho công trình công cộng, tương đương tiêu chuẩn ASHRAE, JIS, EN.
Yêu cầu kiểm định hệ thống thông gió định kỳ 1–2 lần/năm trong trường học, bệnh viện, trung tâm thương mại.
Tăng cường quan trắc chất lượng không khí trong nhà và ngoài trời tại đô thị lớn.
Có chính sách ưu đãi, giảm thuế cho doanh nghiệp lắp đặt thiết bị tiết kiệm năng lượng như ERV.

5.4.2. Kiến nghị với doanh nghiệp và chủ đầu tư

Tích hợp hệ thống cấp khí tươi ngay từ giai đoạn thiết kế công trình.
Chủ động đánh giá IAQ bằng thiết bị đo chuyên dụng thay vì chỉ dựa trên cảm quan.
Ưu tiên thiết bị ERV cho các không gian đông người như văn phòng, F&B, phòng gym, phòng họp.

5.4.3. Kiến nghị với trường học

Lắp thiết bị cấp khí tươi tại lớp học đông người (từ 25 học sinh trở lên).
Thường xuyên mở cửa, vận hành quạt thông gió và theo dõi bằng cảm biến CO_2.
Tập huấn cho giáo viên và học sinh về kiến thức không khí sạch.

5.4.4. Kiến nghị với hộ gia đình

Tăng cường thông gió tự nhiên vào sáng sớm và tối muộn.
Sử dụng máy lọc không khí kết hợp hút ẩm hoặc ERV trong căn hộ kín.
Hạn chế các nguồn phát VOC trong nhà như xịt phòng, sơn kém chất lượng, nến thơm.

5.5. Hướng phát triển nghiên cứu trong tương lai

Mở rộng khảo sát thực nghiệm tại các tỉnh phía Nam để so sánh với khu vực miền Bắc.
Phân tích chi tiết chi phí – lợi ích khi áp dụng ERV trong từng mô hình công trình.
Xây dựng mô hình dự báo IAQ theo mùa, tích hợp dữ liệu thời tiết và lưu lượng sử dụng công trình.
Nghiên cứu tác động dài hạn của cải thiện IAQ đến năng suất lao động và sức khỏe.

5.6. Kết luận cuối cùng

Đề án khẳng định: cải thiện chất lượng không khí không chỉ là vấn đề môi trường, mà là một giải pháp sức khỏe cộng đồng và phát triển kinh tế bền vững. Việc áp dụng các biện pháp thông gió khoa học, đặc biệt là hệ thống cấp khí tươi và ERV, là hướng đi đúng đắn giúp Việt Nam nâng cao chất lượng sống, giảm bệnh hô hấp và xây dựng các không gian làm việc học tập an toàn hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

I. Tài liệu quốc tế

1. WHO – Tổ chức Y tế Thế giới

World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: Particulate matter ($PM_{2.5}$ and PM_{10}), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. WHO Press.

World Health Organization. (2018). *Household Air Pollution and Health*. WHO Fact Sheet.

2. ASHRAE – Hội kỹ sư sưởi ấm, làm lạnh và điều hòa không khí Hoa Kỳ

ASHRAE. (2019). *ASHRAE Standard 62.1–2019: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*.

ASHRAE. (2020). *ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment*.

ASHRAE. (2021). *Position Document on Indoor Air Quality*.

3. Environmental Protection Agency (EPA – Mỹ)

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2023). *Integrated Science Assessment (ISA) for Particulate Matter*.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2022). *Basic Information about Indoor Air Quality (IAQ)*.

4. European Environment Agency (EEA)

European Environment Agency. (2022). *Air Quality in Europe – 2022 report*. EEA Report No 14/2022.

5. IPCC – Ủy ban liên chính phủ về biến đổi khí hậu

IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.

II. Tài liệu khoa học – Journal articles

1. Ô nhiễm không khí & sức khỏe

Lelieveld, J., et al. (2020). *Cardiovascular disease burden from ambient air pollution in Europe reassessed using novel hazard ratio functions*. European Heart Journal.
Cohen, A. J., et al. (2017). *Estimates and trends of global mortality attributable to ambient air pollution*. The Lancet.

2. IAQ & thông gió

Sundell, J. (2017). *On the history of indoor air quality and health*. Indoor Air Journal.
Morawska, L., et al. (2021). *A paradigm shift to combat indoor respiratory infection*. Science.

3. ERV & hệ thống thu hồi nhiệt

Zhang, Y. & Chen, Q. (2006). *Experimental measurements and numerical simulations of particle transport and distribution in ventilated rooms*. Atmospheric Environment.
Simonson, C. (2005). *Energy recovery in ventilation systems*. ASHRAE Journal.

III. Tài liệu Việt Nam

1. Bộ Tài Nguyên và Môi Trường

Bộ TN&MT. (2022). *Báo cáo hiện trạng môi trường quốc gia 2022 – Chuyên đề chất lượng không khí*.

Tổng cục Môi trường. (2020). *Khung chất lượng không khí Việt Nam (VN_AQI)*.

2. Bộ Xây dựng

Bộ Xây dựng. (2017). *QCVN 06:2017/BXD – Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn cháy cho nhà và công trình* (có đề cập đến yêu cầu thông gió).

Bộ Xây dựng. (2005). *TCXD 232:1999 – Thông gió – Điều hòa không khí – Quy phạm thiết kế*.

3. Tổ chức/viện nghiên cứu Việt Nam

Viện Sức khỏe nghề nghiệp và môi trường. (2020). *Khuyến cáo về chất lượng không khí trong nhà sau đại dịch*.
Viện Khoa học và Công nghệ Xây dựng (IBST). (2019). *Giải pháp thông gió công trình dân dụng đô thị*.